



ارائه مدلی برای متعادل سازی سبد پروژه ساختمانی در سازمان های پروژه محور

مبتنی بر بودجه سازمان و تورم های ساخت و مسکن ایران

رضا رجیبی^۱ و سیامک یخچالی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۱۱ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۱۴

چکیده

جریان های نقدی ورودی و خروجی سبد در سازمان های مبتنی بر پروژه های ساختمانی، عمدتاً به دلیل فاصله زمانی بین هزینه های انجام شده و درآمدهای کسب شده، در طول دوره سبد پروژه متعادل نیستند. ماهیت سبد پروژه های ساختمانی به گونه ای است که باید زمان زیادی صرف شود تا پروژه ها تکمیل و آماده فروش شوند تا سازمان به درآمدزایی برسد؛ این موضوع سازمان های پروژه محور ساختمانی را همواره در خطر مواجهه با جریان نقدی منفی و افزایش فشار مالی قرار داده است. بنابراین، هدف این پژوهش به حداکثر رساندن سود سبد پروژه از دیدگاه سازمان است و در آن پارامترهای تورم هزینه های ساخت، تورم قیمت مسکن در دوره های رونق و رکود و میزان آورده سازمان (بودجه) در نظر گرفته می شود. همچنین حداکثر تراز منفی جریان نقدی تجمعی سبد به میزان تزریق سرمایه سازمان محدود می گردد تا جواب بهینه مدل کاملاً متناسب با آورده نقدی و سرمایه در دسترس سازمان باشد. برای حل مساله بهینه یابی از سه الگوریتم فراابتکاری چرخه آب (WCA)، تکامل تفاضلی (DE) و بهینه سازی مبتنی بر یاددهی-یادگیری (TLBO) استفاده می شود. برای اعتبارسنجی مدل، مجموعه ای از پنج پروژه ساختمانی واقعی در تهران بهینه شده است. نتایج بهینه سازی در مقایسه با تجزیه و تحلیل انجام شده توسط دفتر مدیریت پروژه (PMO)، روش سنتی، نشان دهنده بهبود قابل توجهی در تابع هدف است. علاوه بر این، WCA در مقایسه با سایر الگوریتم ها، عملکرد بهتری را در این مساله نشان داد.

واژه های کلیدی: متعادل سازی سبد، بهینه سازی سبد، مدیریت سبد، جریان نقدی، تورم، دوره های رونق و رکود، الگوریتم های فراابتکاری.

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

rezarajabi60@gmail.com

^۲ استادیار دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول).

yakhchali@ut.ac.ir

مقدمه

صنعت ساختمان بیشترین تعداد ورشکستگی را در مقایسه با هر بخش دیگری در اقتصاد تجربه می‌کند و هر ساله بسیاری از شرکت‌های ساختمانی به دلیل سطح بالای عدم اطمینان در بخش ساخت ورشکست می‌شوند. اگرچه عوامل متعددی می‌توانند به طور بالقوه در شکست کسب و کار نقش داشته باشند اما فاکتورهای مالی و بودجه‌ای، به ویژه عدم توجه کافی به مدیریت جریان نقدی، علل غالب هستند (آردیتی^۱، ۲۰۰۰؛ بوسابینو کاکا^۲، ۱۹۹۸). شرایط تورمی اقتصاد جهانی به ویژه در سال‌های اخیر پس از دوران کرونا و رکود صنعت ساختمان، سازمان‌های پروژه‌محور ساختمانی را بیش از پیش در خطر مواجهه با جریان نقدی منفی و افزایش فشار مالی بر سازمان قرار داده است. این موضوع می‌تواند در اجرای مدیریت سبد در سازمان اختلال ایجاد کند و باعث کاهش قابل توجه سود و یا حتی منجر به شکست سبد شود.

بورگری و گلودنزی^۳ (۲۰۱۳) نرخ بهره، ارز و نقدینگی را به عنوان عوامل کلیدی تعیین کننده‌ای در نظر گرفتند که بیشترین ریسک مالی را در پروژه‌های ساختمانی ایجاد می‌کند. باربوسا و پیمنتل^۴ (۲۰۰۱) خطرات مالی پروژه‌های ساختمانی را بررسی کردند، از جمله نیاز به سرمایه بالا، که در بسیاری از پروژه‌ها رایج است، تاخیرهای احتمالی در پرداخت مشتری و آسیب پذیری نسبت به نوسانات نرخ بهره از زمان بسته شدن قرارداد تا اتمام برنامه زمانی پرداخت. تورم نقش مهمی در میزان دارایی نقدی یک شرکت دارد و هرگونه تغییر در نرخ تورم تأثیر مستقیمی بر ارزش این دارایی‌ها دارد. (کرتیس^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). نرخ تورم اغلب در اقتصاد ساخت نادیده گرفته می‌شود و به دلیل نوسانات سالانه در قیمت مصالح ساختمانی، دستمزد نیروی کار و هزینه‌های کرایه ماشین‌آلات منجر به افزایش هزینه‌ها می‌شود (موسارات^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر این، دوره‌های رونق و رکود از ویژگی‌های مهم بازار مسکن می‌باشند که در ادبیات مدیریت سبد ساخت نیز کمتر مورد بحث قرار گرفته است. این دوره‌ها باعث شده؛ صنعت مسکن از یک سو به طور نسبی متأثر از شوک‌های اقتصادی باشد و از سوی دیگر می‌تواند اقتصاد را تحت الشعاع قرار دهد به گونه‌ای که حتی باعث بروز بحران‌های مالی عظیم و ورشکستگی بزرگ‌ترین شرکت‌های املاک و ساختمانی در جهان شده است. بنابراین بررسی و تحلیل دوره‌های رونق و رکود در سرمایه‌گذاری و بهینه‌سازی سبد پروژه‌های عمرانی ضروری است.

^۱ Arditi

^۲ Boussabaine & Kaka

^۳ Borghezi & Gaudenzi

^۴ Barbosa and Pimentel

^۵ Curtis

^۶ Musarat

پیچیدگی و نوسانات بازار، سازمان‌ها را بیش از هر زمان دیگری مجبور به انجام تحقیقات استراتژیک و برنامه‌ریزی کرده است (معصومی و توران^۱، ۲۰۱۶). در این میان مدیریت سید روشی برای عملی ساختن برنامه‌ریزی استراتژیک سازمانی و پاسخگویی به تغییرات در استراتژی‌ها است (آریتوا^۲ و همکاران، ۲۰۰۹). هدف اولیه مدیریت سید، بهینه‌سازی زمان، هزینه، ریسک و کیفیت برای دستیابی به اهداف سازمان می‌باشد (کوپر^۳ و همکاران، ۱۹۹۷). اگرچه در ابتدا سرمایه‌گذاران مالی بودند که مدیریت سید انجام می‌دادند (مارکویتز^۴، ۱۹۵۲) اما در سازمان‌هایی که پروژه‌های تحقیق و توسعه دارند نیز به طور وسیعی استفاده شده است (کسالت^۵ و همکاران، ۲۰۱۳؛ هانگ^۶ و همکاران، ۲۰۰۸) و در سال‌های اخیر نیز در سازمان‌های پروژه‌محور مورد استفاده قرار گرفته است (عباسیان چهرمی و رجائی، ۲۰۱۲). بهینه‌سازی جریان نقدی یکی از استراتژی‌های مدیریت استراتژیک سید است (سامر عزالدین و علی^۷، ۲۰۱۷). بهینه‌سازی جریان نقدی سید، ریسک‌های تامین مالی پروژه را کاهش می‌دهد و به اهداف مالی پروژه دست می‌یابد (پلاژه^۸ و همکاران، ۱۹۹۴؛ هان^۹ و همکاران، ۲۰۰۴؛ سانچز^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۹). لازم به ذکر است که در بهینه‌سازی جریان نقدی، باید جریان نقدی ورودی و خروجی با توجه به ارزش زمانی محاسبه شوند (هگازی^{۱۱}، ۱۹۹۹؛ پورناس و بودیا^{۱۲}، ۲۰۱۵). جریان‌های نقدی ورودی و خروجی سید در سازمان‌های مبتنی بر پروژه‌های ساختمانی، عمدتاً به دلیل فاصله زمانی بین هزینه‌های انجام شده و درآمدهای ایجاد شده، در طول دوره سید پروژه متعادل نیستند. ماهیت سید پروژه‌های ساختمانی به گونه‌ای است که باید مدت زمان زیادی صرف شود تا پروژه‌ها تکمیل و آماده فروش شوند تا برای سازمان درآمدزایی کنند. در مورد پروژه‌های پیمانکاری، علل عدم تعادل می‌تواند دلایل دیگری مانند تاخیر در پرداخت یا پرداخت‌های باقی مانده باشد که موضوع این مقاله نمی‌باشد.

این مقاله به مدیریت سید پروژه‌های ساخت با رویکرد متعادل‌سازی جریان نقدی از دیدگاه سازمان می‌پردازد. اهمیت اصلی مدل پیشنهادی در موارد زیر است: (الف) در نظر گرفتن شاخص‌های تورمی صنعت ساخت و ساز و بازار مسکن از جمله تورم

^۱ Masoumi & Touran

^۲ Aritua

^۳ Cooper

^۴ Markowitz

^۵ Casault

^۶ Huang

^۷ Samer Ezeldin & Ali

^۸ Platje

^۹ Han

^{۱۰} Sanchez

^{۱۱} Hegazy

^{۱۲} Purnas and Bodea

هزینه‌های ساخت و تورم قیمت مسکن در دوره‌های رونق و رکود. ب) در نظر گرفتن شرایط مالی سازمان و محدودیت‌های بودجه‌ای مانند میزان سرمایه.

مدل ارائه شده در این مقاله ابزاری را جهت کمک به تصمیم‌گیری مدیران سبد و مالکان سازمان فراهم می‌کند تا سود سبد را از طریق به حداکثر رساندن سطح زیر منحنی جریان نقدی تجمعی سبد در سازمان‌های مبتنی بر پروژه‌های ساختمانی با در نظر گرفتن محدودیت بودجه، تورم هزینه‌های ساخت، تورم قیمت مسکن در دوره‌های رونق و رکود به حداکثر برسانند. در ادامه مروری بر پیشینه پژوهش می‌شود، روش تحقیق تشریح و الگوریتم‌های بهینه‌سازی معرفی می‌شوند. سپس نتایج پیاده‌سازی مدل پیشنهادی ارائه شده و اعتبارسنجی با مطالعه موردی واقعی در شهر تهران انجام می‌شود. در نهایت، نتایج اصلی از بحث استخراج می‌شود.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مدل‌های متعادل‌سازی و بهینه‌سازی سبد

متعادل‌سازی سبد فرآیند بهینه‌سازی ترکیبی از اجزای سبد برای پیشبرد اهداف استراتژیک یک سازمان است (موسسه مدیریت پروژه^۱، ۲۰۱۷). بسیاری از محققان مطالعات خود را بر روی ارائه یا توسعه مدل‌های متعادل‌سازی سبد متمرکز کرده‌اند. هر مدل ویژگی منحصر به فرد خود را دارد. کومار^۲ و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل متعادل‌سازی مجدد با هزینه‌های تراکنش با استفاده از بهینه‌سازی بازه‌ای ارائه کردند. میتال و مهلاوات^۳ (۲۰۱۴) یک مدل چند هدفه برای متعادل‌سازی مجدد سبد پروژه‌های مالی با ترکیبی از هزینه تراکنش بر اساس تنزیل افزایشی نمایی ارائه کردند. آنها ریسک، بازده سرمایه‌گذاری^۴ (ROI) و نقدینگی را به عنوان معیارهای کلیدی سبد پروژه‌های مالی در نظر گرفتند. در پژوهشی دیگر درنواک و رانکویچ^۵ (۲۰۱۴) یک مدل متعادل-سازی مجدد برای مدل مارکوویتز پیشنهاد کردند. آنها نظارت بر گردش مالی را به معیارهای دیگر در مدل مارکوویتز اضافه کردند و دو استراتژی مختلف متعادل‌سازی مجدد را طبق این مدل آزمایش کردند. مدل اول بر اساس ریسک بازار و مدل دوم بر اساس ارزش بهینه معامله ریسک و بازده بود. آنها همچنین از نوسانات بهینه سبد به عنوان معیاری برای تخصیص و تعادل سبد اولیه استفاده کردند. وانگ^۶ و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل متعادل‌سازی مجدد سبد برای تامین مالی پروژه بر اساس بهینه‌سازی معکوس با حداقل تعداد دارایی‌ها پیشنهاد کردند. با اعمال یک معیار جریمه در تابع هدف، مدل پراکنده با هزینه‌های

^۱ PMI

^۲ Kumar

^۳ Mittal & Mehlaawat

^۴ Rate of Investment

^۵ Drenovak & Ranković

^۶ Wang

مبادله کم (*TCS*) تصمیم می‌گیرد که آیا سبد اولیه ارزش تعدیل دارد یا خیر و کدام دارایی باید بر اساس بهینه‌سازی معکوس تنظیم شود. سامر عزالدین و علی با محاسبه نرخ بهره و تخصیص آن به پروژه‌ها، ارزش زمانی پول را در مدل خود در نظر گرفتند که می‌تواند نرخ تورم یا حداقل نرخ بازده جذاب پیمانکار (*MARR*) باشد. هدف آنها به حداکثر رساندن ارزش فعلی خالص (*NPV*) برای سبد پروژه‌ها بود که در ابتدای سبد تنزیل داده شد. در مدل آنها، متغیرهای بهینه‌سازی، تأخیرهایی هستند که به هر فعالیت اختصاص داده می‌شوند و پس از زمان‌بندی مجدد، فعالیت‌ها را پس از شروع زودهنگام با مقدار آن تأخیرها به تأخیر می‌اندازند و در نتیجه جریان نقدی اصلاح‌شده‌ای برای پروژه ایجاد می‌کنند. برخی مدل‌های دیگر نیز به عنوان مدل‌های چند معیاره برای متعادل‌سازی سبد ارائه شده‌اند (گوپتا^۱ و همکاران، ۲۰۰۴؛ داس^۲ و همکاران، ۲۰۰۹؛ وودساید اوریآخی^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). ریسک پروژه یکی دیگر از عوامل مهمی است که در برخی از مدل‌های بهینه‌سازی سبد پروژه‌ها در نظر گرفته می‌شود. ریسک پروژه نه تنها بر پروژه تأثیر می‌گذارد، بلکه بر پارامترهایی مانند زمان، جریان نقدی و بازده سرمایه‌گذاری سبد نیز تأثیر می‌گذارد. برخی از محققان عمده‌تاً بر روی این ریسک‌ها تمرکز کرده‌اند (لیو و لی^۴، ۲۰۱۱؛ دکسیت و تیواری^۵، ۲۰۲۰؛ لی^۶ و همکاران، ۲۰۲۰؛ شهید^۷ و همکاران، ۲۰۲۳). در نظر گرفتن ریسک پروژه، مدل‌سازی را به واقعیت نزدیکتر می‌کند. کین^۸ و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل بهینه‌سازی را با در نظر گرفتن ریسک پروژه و بازده سرمایه‌گذاری در شرایط عدم قطعیت پیشنهاد کردند. همچنین انتخاب بهترین رویکردهای تامین مالی پروژه‌ها بسیار مهم است. بنابراین، علوی پور و آردیتی^۹ (۲۰۱۸) مدلی ارائه کردند که با در نظر گرفتن گزینه‌های مختلف تامین مالی و یک برنامه کاری با مدت زمان عادی فعالیت، هزینه تامین مالی را به حداقل می‌رساند. مدل پیشنهادی یک پیش‌بینی جریان نقدی براساس یک برنامه کاری ایجاد شده توسط روش مسیر بحرانی (*CPM*) ایجاد می‌کند.

با توجه به پیشینه تحقیق، مشاهده می‌شود که بسیاری از مدل‌ها برای پروژه‌های غیرساختمانی مانند تحقیق و توسعه یا سبد سهام ارائه شده‌اند و عمده‌تاً پارامترهایی مانند ریسک پروژه، *ROI*، عدم قطعیت، جریمه و هزینه معامله را در نظر می‌گیرند. از بین تعداد محدود مدل‌های ارائه شده در حوزه ساخت، شاخص‌های بازار مانند تورم هزینه‌های ساخت، تورم قیمت مسکن در دوره‌های رونق و رکود و شرایط مالی سازمان از جمله میزان سرمایه با رویکرد جریان نقدی به طور همزمان در نظر گرفته نشده

^۱ Gupta^۲ Das^۳ Woodside-Oriakhi^۴ Yu & Lee^۵ Dexit & Tiwari^۶ Li^۷ Shahid^۸ Qin^۹ Alavipour & Arditi

است. ضمناً اکثر مطالعات قبلی در زمینه بهینه‌سازی سبد پروژه‌ها از دیدگاه پیمانکار بوده و این درحالی است که بسیاری از پروژه‌های عمرانی توسط سازمان‌های پروژه محور انجام می‌شود. از این رو، شکاف پژوهشی در بهینه‌سازی سبد پروژه‌های عمرانی از دیدگاه سازمان در تحقیقات قبلی شناسایی شده است. بنابراین در این تحقیق مدل بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری با رویکرد جریان نقدی برای پروژه‌های ساختمانی با در نظر گرفتن شاخص‌های تورمی بازار مانند تورم هزینه‌های ساخت، تورم قیمت مسکن در دوره‌های رونق و رکود بازار مسکن و شرایط مالی و محدودیت بودجه سازمان پیشنهاد شده است. اساس بهینه‌سازی سبد پروژه‌ها در این مدل یافتن بهترین زمان برای شروع (هزینه‌ها) و فروش (درآمد) پروژه‌ها است تا جریان نقدی سبد پروژه متعادل و بهینه شود و متعاقباً سود برای سبد به حداکثر برسد. همچنین با توجه به فضای جواب ممکن گسترده در مساله، از الگوریتم‌های فراابتکاری برای یافتن راه حل بهینه استفاده می‌شود.

الگوریتم‌های فراابتکاری برای بهینه‌سازی سبد

چیدمان بهینه پروژه‌ها در سبد پروژه از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو برخی محققین با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری به حل مدل‌هایی در جهت بهینه‌سازی سبد پروژه پرداخته‌اند. شیها و حسنا^۱ (۲۰۱۹) با استفاده از الگوریتم بهینه‌یابی ژنتیک چند هدفه، مدلی را جهت بهینه‌سازی جریان نقدی ارائه کردند که در این مدل، پرداخت کارفرما به پیمانکار، پرداخت‌های پیمانکار به پیمانکاران فرعی و تامین‌کنندگان، و همچنین ترتیبات مالی پیمانکار با بانک‌ها را به‌عنوان شرایط اصلی پرداخت مدل‌سازی کردند. هی^۲ و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری، سبد حاوی چندین پروژه را به صورت بهینه زمان‌بندی کردند. هدف اصلی این تحقیق مثبت نگه‌داشتن جریان نقدی سبد پروژه بود. رسلون^۳ و همکاران (۲۰۲۰) نیز با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری، زمان‌بندی سبد پروژه را بهینه کرده تا مناسب‌ترین جریان نقدی برای کارفرما به وجود آید. علاوه بر الگوریتم‌های فراابتکاری، روش‌های دیگری نیز برای حل مدل‌های این نوع مسائل توسط محققین استفاده شده است که می‌توان به روش برنامه‌ریزی خطی و خطی عدد صحیح اشاره کرد. قاسم زاده^۴ و همکاران (۱۹۹۹) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح صفر و یک را برای انتخاب و زمان‌بندی یک سبد پروژه بهینه براساس اهداف و محدودیت‌های سازمان مانند منابع محدود و وابستگی‌های متقابل بین پروژه‌ها، ارائه کردند. این مدل پروژه‌هایی را پیشنهاد می‌کند که باید در سبد بهینه گنجانده شوند و همچنین دوره آغاز هر پروژه را مشخص می‌کند. آکباش^۵ و همکاران (۲۰۲۲) مدلی را برای به حداکثر رساندن بازده مورد انتظار سبد و در عین حال به حداقل رساندن ریسک سبد بر اساس مدل میانگین انحراف مطلق (*MAD*) پیشنهاد

^۱ Shiha and Hosny

^۲ He

^۳ Roslon

^۴ Ghasemzadeh

^۵ Akbaş

شده توسط کونو و یامازاکی^۱ پیشنهاد کردند. با توجه به عدم قطعیت بازده مورد انتظار در *MAD*، مساله با برنامه‌ریزی خطی فازی مدل‌سازی مجدد شد.

الگوریتم ژنتیک^۲ یکی از اولین الگوریتم‌های تصادفی مبتنی بر جمعیت است که برای حل مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌شود. هدف این الگوریتم ایجاد راه حل‌های جدید بهتر با ترکیب راه حل‌های قدیمی با کمک عملگرهایی مانند آمیزش و جهش است (میرجاللی^۳، ۲۰۱۹). الگوریتم ژنتیک در بین محققان بسیار محبوب است و در بسیاری از تحقیقات و زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. این الگوریتم همچنین قادر به حل مسائل بهینه‌سازی مقید است (کوتاچ^۴ و همکاران، ۲۰۰۹). از این رو اسدوجامان^۵ و همکاران (۲۰۲۰) از این الگوریتم برای بهینه‌سازی جریان نقدی پروژه با محدودیت منابع بهره بردند به طوری که منابع پروژه به صورت قید در نظر گرفته شده است. الگوریتم ازدحام ذرات^۶ نیز یکی دیگر از الگوریتم جستجوی هوشمند است که از هوش جمعی و رفتار هوشمندانه ذرات مانند ماهی‌ها و پرندگان الهام گرفته است که برای اولین بار توسط کندی و ابرهارت^۷ (۱۹۹۵) برای بهینه‌سازی توابع غیرخطی معرفی شد. سان^۸ و همکاران (۲۰۲۱) از این الگوریتم برای بهینه‌سازی هزینه مواد مورد نیاز برای اجرای یک پروژه استفاده کردند. همچنین، جلایی^۹ و همکاران (۲۰۲۱) براساس داده‌های شاخص‌های اقتصادی در ایران، با ایجاد تغییرات جزئی در فرآیند محاسباتی این الگوریتم، تلاش کردند تقاضای پول را در دوره‌های مختلف برآورد کنند. سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند تکامل تفاضلی^{۱۰}، الگوریتم چرخه آب^{۱۱} (*WCA*) و بهینه‌سازی مبتنی بر یادگیری-یادگیری^{۱۲} (*TLBO*) نیز در مسائل مهندسی استفاده می‌شوند که به شدت به یافتن راه‌حل بهینه کمک می‌کنند (کارابوگا و اوکدم^{۱۳}، ۲۰۰۴؛ سادولا^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۵؛ کومار^{۱۵} و همکاران، ۲۰۲۲).

^۱ Konno & Yamazaki

^۲ Genetic Algorithm (GA)

^۳ Mirjalili

^۴ Katoch

^۵ Asadujjaman

^۶ Particle Swarm optimization (PSO)

^۷ Kennedy & Eberhart

^۸ Son

^۹ Jalaei

^{۱۰} Differential Evolution Algorithm (DE)

^{۱۱} Water Cycle Algorithm (WCA)

^{۱۲} Teaching–Learning–Based Optimization (TLBO)

^{۱۳} Karaboğa & Ökdem

^{۱۴} Sadollah

^{۱۵} Kumar

با توجه به ماهیت پیچیده مدل های مربوط به مباحث مالی و همچنین فضای جست و جوی بسیار گسترده این مدل ها، محققین از الگوریتم های جست و جوی هوشمند برای حل آن ها استفاده کرده اند به طوری که الگوریتم های جست و جوی هوشمند به بخش جدایی ناپذیر حل مدل های ریاضی تبدیل شده است. در این پژوهش نیز با توجه به قرارگیری مدل ارائه شده در دسته مدل های $NP-Complete$ ^۱، برای حل آن از سه الگوریتم فراابتکاری شامل الگوریتم چرخه آب، الگوریتم تکاملی تفاضلیو الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری استفاده شده است.

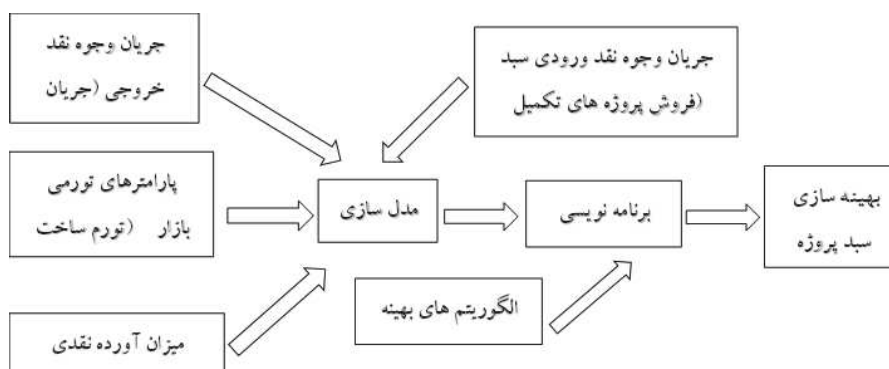
الگوریتم تکاملی تفاضلی به دلیل سادگی و تکیه اش بر عملیات برداری و استراتژی های جهش، که در حل مسائل پیچیده و چندبعدی بسیار مؤثر است، انتخاب گردید. الگوریتم چرخه آب، که الهام گرفته از فرآیندهای طبیعی است، به دلیل عملکرد قوی خود در حل مسائل غیرخطی و چندبعدی انتخاب شده و به طور گسترده ای در کاربردهای مهندسی مورد استفاده قرار می گیرد. در نهایت، الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری به خاطر اثربخشی اش در حل مسائل بهینه سازی بدون نیاز به تنظیمات پارامتری گسترده، و همچنین توانایی بالقوه اش در حل مسائل دارای محدودیت، برگزیده شده است (میرجلالی و همکاران، ۲۰۱۴).

روش شناسی پژوهش

با توجه به هدف پژوهش که متعادل سازی سبد پروژه با رویکرد جریان نقدی و در نظر گرفتن محدودیت های سازمان و شرایط بازار است، روش تحقیق به شرح مراحل زیر در نظر گرفته شده است. فلوچارت روش تحقیق مساله در شکل ۱ ارائه شده است.

- جمع آوری اطلاعات هزینه ماهانه پروژه های موجود در سبد
- مشخص کردن مقادیر شاخص های تورمی بازار در مساله (مقدار تورم ساخت و مقدار تورم مسکن)
- تعیین میزان آورده نقدی سازمان
- مدل سازی ریاضی تحقیق
- انتخاب الگوریتم بهینه یابی مورد نظر
- برنامه نویسی مساله
- حل مساله (متعادل سازی سبد پروژه و یافتن جواب بهینه)

^۱ Nondeterministic polynomial-time complete



شکل ۱- فلوچارت روش تحقیق مساله

از آنجا که بهینه‌سازی در این تحقیق بر اساس جریان نقدی سبد پروژه‌ها انجام می‌گردد، جریان وجوه نقد خروجی یا به عبارتی هزینه ماهانه پروژه‌ها باید جمع‌آوری شود. جریان وجوه نقدی ورودی پروژه‌ها نیز از محل درآمد حاصل از فروش پروژه‌ها یعنی پس از اتمام حداقل یک پروژه و فروش آن حاصل می‌گردد.

پارامترهای تورمی بازار (تورم ساخت و تورم)

مهمترین شاخص‌های تورم بازار موثر بر شرایط سبد پروژه در یک سازمان را می‌توان تورم‌های هزینه ساخت و تورم قیمت مسکن دانست. تورم هزینه‌های ساخت باعث افزایش هزینه‌های سبد یک سازمان به دلیل تاخیر در شروع پروژه‌ها می‌شود. از این رو هر چه پروژه‌ها دیرتر شروع شوند، هزینه‌های ساخت بیشتر می‌شود. اما تورم بخش مسکن بسیار متأثر از دوره‌های رکود و رونق بازار مسکن است به طوری که در دوره‌های رکود، قیمت مسکن ماهیانه کاهش یا تقریباً ثابت و در دوره‌های رونق، قیمت مسکن افزایش می‌یابد. اگرچه در بلند مدت تورم دوره رونق بر تورم دوره رکود غالب می‌شود اما نمی‌توان رکود و رونق بازار مسکن را نادیده گرفت چرا که این دوره‌ها بر زمان فروش پروژه‌ها و تامین مالی برای ساخت پروژه‌های دیگر بسیار اثرگذار است.

برآورد هزینه پروژه‌ها در طول فرآیند ساخت می‌تواند بر اساس هزینه فعلی مصالح و ساخت باشد اما بخاطر وجود تورم هزینه‌ها با گذشت زمان افزایش می‌یابد. بنابراین نرخ تورم مصالح و ساخت (K) به عنوان پارامتر اصلی افزایش هزینه‌ها در طول خط زمانی سبد باید در مدل در نظر گرفته می‌شود.

هزینه ماهانه پروژه‌ها

هزینه ماهانه هر پروژه (C_{ji}) برای هر ماه دیرتر شروع شدن نسبت به شروع سبد، K درصد افزایش می یابد. رابطه ۱ محاسبه هزینه ماه i ام از پروژه j ام را نشان می دهد.

$$C'_{ji} = C_{ji} \times (1 + K/100)^i \quad (۱)$$

مبلغ فروش هر پروژه (R_j) :

با توجه به استراتژی و شرایط سازمان، درصدی از کل هزینه برآورد شده ساخت (بدون در نظر گرفتن تورم برای پروژه ها) به عنوان ضریب سود (P) در نظر گرفته می شود. بدین ترتیب برای بدست آوردن مبلغ فروش هر پروژه (C_j) ، هزینه ساخت هر پروژه در ضریب سود ضرب می شود، سپس مقدارهای بدست آمده براساس اینکه هر یک از پروژه ها در چه ماهی از خط زمانی سبد فروخته می شوند در میانگین تورم های ماهانه دوره های رونق و رکود مسکن تا آن زمان ضرب می شوند.

$$C_j = \sum_{i=1}^{Dur_j} C_{ji} \quad (۲)$$

$$R_j = C_j \times (1 + P/100) \sum_{i=1}^t \beta_i \quad (۳)$$

میزان آورده نقدی سازمان (B_T)

هر سازمانی برای آغاز سبد پروژه خود نیازمند بودجه و آورده نقدی است تا بتواند حداقل یک پروژه را در ابتدای سبد آغاز کند. با گذشت زمان و اتمام پروژه های آغاز شده شده، برای سازمان این امکان فراهم می شود تا پروژه های پایان یافته را به فروش برساند و با مبلغ حاصل از پروژه های فروخته شده پروژه های جدید را آغاز کند. بودجه هر سازمان متفاوت است اما واضح است که هرچه آورده نقدی سازمان بیشتر باشد، نیاز به فروش پروژه ها کمتر بوده و سازمان می تواند پروژه های تکمیل شده را در زمان مناسب تر به فروش برساند و بالتبع سود بیشتری کسب کند. اما در شرایطی که آورده نقدی سازمان کافی نباشد، سازمان ممکن است مجبور شود به محض اتمام هر پروژه، آن را به فروش برساند تا برای اجرای پروژه های دیگر تامین مالی کند. با توجه به محدودیت های مالی و استراتژی های سازمانی α درصد از هزینه ساخت پروژه های سبد بدون در نظر گرفتن تورم (C_p) به عنوان

آورده نقدی سازمان (B_T) در نظر گرفته می شود که γ درصد آن در ابتدای سید و $(1-\gamma)$ درصد باقی مانده m ماه بعد به سید سازمان تزریق خواهد شد.

$$C_p = \sum_{j=1}^J C_j \quad (4)$$

$$B_T = (\alpha/100) \times C_p \quad (5)$$

$$B_m = (1 - \gamma/100) \times B_T \quad (6)$$

مدل سازی مساله

برای مدل سازی ریاضی مساله، ابتدا باید سه بخش اصلی شامل متغیرهای تصمیم، محدودیت ها و تابع هدف مسئله تعیین شود. سپس مدل ریاضی مساله نوشته می شود و با الگوریتم بهینه سازی راه حل بهینه برای مساله مشخص می شود. در ادامه سه قسمت اصلی مدل بهینه سازی مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۱ پارامترهای مورد استفاده برای مدل سازی به همراه تعریف آن ها را در این پژوهش نشان می دهد.

جدول ۱- پارامترهای مساله

پارامترها	تعریف
S	سید (نقدی جمع جریانی نمودار زیر تابع هدف (مساحت)
CC_i	i ماه در تجمعی نقدی جریان
$CC_{(i,j)}$	i ماه در j پروژه تجمعی نقدی جریان
i	(ماه) زمان اندیس
t	(ماه) زمان فروش پروژه
J	سید در حاضر های پروژه تعداد
Dur_j	(ماه) j پروژه اجرای زمان مدت
N	پروژه (ماه) سید حداکثر مدت اجرای
$X_{(1,j)}$	j پروژه شروع زمان
$X_{(2,j)}$	j پروژه فروش زمان
K	نرخ تورم مصالح و ساخت

P	ضریب سود پروژه
β_i	میانگین تورم ماهانه مسکن در دوره رونق یا رکود
C_{ji}	ام بر مبنای نرخ حال (بدون احتساب تورم ماهانه) زام از پروژه آهزینه ماه
C'_{ji}	ام با احتساب تورم ماهانه زام از پروژه آهزینه ماه
C_j	حال نرخ مبنای ام بر پروژه ساخت کل هزینه
R_j	ام با احتساب تورم دوره های رکود و رونق مسکن (مبلغ فروش پروژه
α	درصدی از هزینه کل پروژه‌های سبد (بدون در نظر گرفتن تورم)
C_p	هزینه ساخت پروژه های سبد بدون در نظر گرفتن تورم
B_T	کل آورده نقدی سازمان
B_i	i ماه در نقدی تجمعی سازمان آورده
γ	درصد تزریق آورده نقدی به سبد پروژه در ابتدای سبد
m	زمان تزریق بخش دوم از آورده نقدی
B_m	مقدار تزریق بخش دوم از آورده نقدی به سبد پروژه
$X_{(t)}$	قبلی نسل
$X_{(t+1)}$	جدید نسل
V_i	جدید نسل به رسیدن برای قبلی نسل تغییر مقدار
W	قبل نسل در تغییرات اثر وزن
C_1	تغییرات در آخر مرحله بهینه و کلی بهینه جواب اثرگذاری وزن
C_2	تغییرات در آخر مرحله بهینه جواب اثرگذاری وزن
r_1	تصادفی اول عدد
r_2	تصادفی دوم عدد

متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم به پارامترهایی اشاره دارند که بر تابع هدف مساله اثر می گذارند. کمی سازی متغیرهای تصمیم به تعیین و یافتن راه حل برای یک مساله منجر می شود بنابراین با تغییر در هر یک از متغیرهای تصمیم مقدار تابع هدف مساله تغییر کرده و حالت دیگری از مساله مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

هدف اصلی بهینه‌سازی یافتن بهترین مقادیر برای متغیرهای تصمیم است که تابع هدف را اپتیمم کند و در عین حال محدودیت‌های مساله را برآورده کند. با توجه به مفهوم اساسی مساله پژوهش، هدف مساله بیشینه کردن سطح زیر نمودار

منحنی جریان نقدی تجمعی سبد پروژه است و متغیرهای تصمیم، اطلاعات مربوط به خروج و ورود پول از سبد می باشند که منحنی جریان نقدی تجمعی را تشکیل می دهند. خروج پول ناشی از هزینه کرد برای اجرای پروژه و ورود پول به دلیل فروش پروژه ها و کسب درآمد از آنها است.

از آنجایی که هزینه لازم برای ساخت پروژه ها از طریق شبکه زمان بندی و برآورد به صورت ماهانه مشخص است، کافی است زمان آغاز هر پروژه مشخص گردد تا هزینه کرد سبد پروژه نیز مشخص گردد. به طور کلی متغیرهای تصمیم این مساله زمان آغاز و زمان فروش هر یک از پروژه های سبد می باشد.

در حالی که متغیرهای تصمیم هر مقداری می توانند اختیار کنند، می توان برای آنها کران های بالا و پایین در نظر گرفت. متغیرهای تصمیم معمولاً به صورت برداری به صورت زیر بیان می شوند:

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_{n-1}, X_n] \quad (7)$$

در این مساله بردار متغیر تصمیم یک ماتریس دو سطری است که سطر اول زمان آغاز پروژه ها و سطر دوم زمان فروش پروژه ها را نشان می دهد. به عنوان مثال برای سبد شامل پنج پروژه، بردار متغیرهای تصمیم مانند شکل ۲ خواهد بود.

$$X = [St_1, St_2, St_3, St_4, St_5]$$

$$Se_1, Se_2, Se_3, Se_4, Se_5]$$

شکل ۲- شماتیک بردار متغیر تصمیم مساله با در نظر گیری ۵ پروژه

با توجه به این که در این مثال پنج پروژه در سبد فرض شده است، پنج زمان شروع و پنج زمان فروش برای پروژه ها به عنوان متغیر تصمیم بر تابع هدف دخالت دارند. St_i معرف زمان شروع پروژه i و Se_i معرف زمان فروش پروژه i است.

قیود

اگرچه در مسائل بهینه سازی، متغیرهای تصمیم بر اساس بهینه سازی تابع هدف تعیین می شوند، اما باید الزامات خاصی به نام محدودیت ها یا قیود را نیز برآورده کنند بنابراین هنگام حل مساله بهینه سازی سبد باید محدودیت ها را نیز در نظر گرفت.

هر سازمان برای شروع سبد، نیازمند آن است تا بودجه مشخصی را براساس استراتژی های سازمانی و محدودیت منابع خود به عنوان آورده نقدی اولیه و در شروع سبد به سبد پروژه تزریق کند تا با آن پروژه یا پروژه هایی را آغاز کند و در ادامه با فروش بخشی از پروژه های اتمام یافته، نقدینگی لازم را برای پیشبرد باقی مانده سبد تامین کند.

در این پژوهش، قیدهایی برای به دست آوردن حالت بهینه زمان آغاز و زمان فروش پروژه‌ها وجود دارد. مهمترین این قیود این است که بیشینه تراز منفی در نمودار جریان نقدی از آورده سازمان جهت اجرای سبد کمتر باشد. به عبارت دیگر، بیشینه جریان منفی (هزینه‌ها) از آورده نقدی تجاوز نکند. در این صورت مقدار جریان نقدی تجمعی با لحاظ علامت از آورده نقدی سازمان باید بیشتر باشد. این قید به صورت رابطه ۲ ارائه شده است.

$$\forall i \in \{1..N\} \quad CC_i \geq B_i \quad i=1, 2, 3, ..., N \quad (8)$$

از آنجا که ممکن است سازمان در ابتدای سبد یکباره کل سرمایه خود را به سبد تزریق نکند، سرمایه سازمان به صورت ماهانه در نظر گرفته شده است.

CC_i جریان نقدی تجمعی سبد پروژه در ماه i ام برابر با جمع جبری جریان نقدی تمام پروژه‌ها در ماه i است که می‌تواند ناشی از هزینه ساخت و یا درآمد از محل فروش پروژه‌ها باشد. محاسبه CC_i در رابطه ۳ ارائه شده است.

$$CC_i = \sum_{j=1}^I (CC_{i,j}) \quad (9)$$

زمان فروش پروژه باید پس از اتمام آن پروژه در نظر گرفته شود. زمان اتمام پروژه برابر است با زمان آغاز پروژه به علاوه مدت زمان لازم جهت اجرای آن پروژه. این قید در رابطه ۴ نشان داده شده است.

$$\forall j \in \{1..J\} \quad X_{2,j} \geq X_{1,j} + Dur_j \quad (10)$$

قید دیگر، مدت زمان نهایی برای خاتمه سبد پروژه است. از آنجا که مدت زمان سبد پروژه نمی‌تواند بی‌نهایت باشد بنابراین باید زمانی را برای خاتمه سبد در نظر گرفت که تا آن زمان تمامی پروژه‌ها ساخته و فروخته شده باشند. این قید در رابطه ۵ ارائه شده است.

$$\forall i \in \{1..n\} \quad n \leq N \quad (11)$$

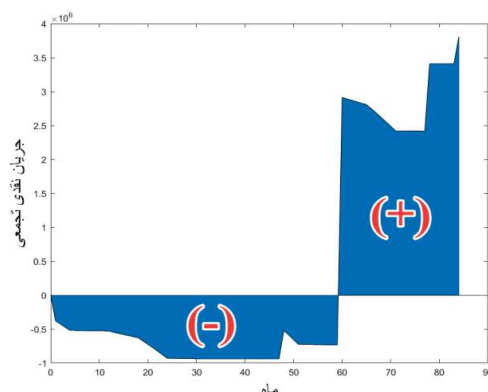
توضیح آنکه مقدار پارامتر N (مدت زمان نهایی سبد پروژه) با توجه به ارزیابی‌های فنی و توجیهی و سیاست‌های سازمان اتخاذ می‌شود.

تابع هدف

تابع هدف در مساله بهینه‌سازی اغلب حداقل کردن هزینه‌ها یا حداکثر کردن سود بر اساس مجموعه‌ای از محدودیت‌ها در نظر گرفته می‌شود. اما در این مساله با در نظر گرفتن پارامتر مدت زمان سبد پروژه و مصاحبه با خبرگان، حداکثر کردن سطح زیر منحنی جریان نقدی تجمعی به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد که به طور غیرمستقیم منجر به حداکثر کردن سود می‌شود. در نمودار جریان نقدی، هزینه‌ها و درآمدها به ترتیب به صورت علامت مثبت و منفی ظاهر می‌شوند. طولانی شدن مدت زمانی که جریان نقدی پروژه منفی است فشار مالی زیادی بر ذینفعان پروژه وارد می‌کند. از سوی دیگر، هرچه جریان نقدی مثبت برای سبد پروژه در مدت زمان طولانی‌تری وجود داشته باشد، ذی نفعان با خیال آسوده می‌توانند تصمیمات استراتژیک خود را اتخاذ کنند و از جریان نقدی مثبت حتی در پروژه‌های دیگر نیز استفاده کنند. در این پژوهش برای محاسبه مساحت زیر نمودار جریان نقدی تجمعی، از روش مساحت گیری ذوزنقه ای استفاده شده است. رابطه ۶ نحوه محاسبه مسطح زیر نمودار جریان نقدی مطابق را نشان می‌دهد.

$$S = \sum_{i=1}^n [(CC_i + CC_{i+1})/2] \times \Delta t \quad (12)$$

از آنجایی که جریان نقدی به صورت ماهانه است لذا سطح زیر نمودار جریان نقدی تجمعی به ذوزنقه‌هایی با قاعده ۱ و ارتفاع‌هایی برابر با مقدار تجمعی جریان نقدی سبد در دو ماه متوالی تقسیم شده و مساحت تک تک ذوزنقه محاسبه و با هم جمع می‌شوند تا مساحت زیر نمودار جریان نقدی محاسبه شود. زمانی که هزینه‌ها بیشتر از درآمدها باشد مقدار جریان نقدی تجمعی منفی خواهد شد، در نتیجه مساحت زیر منحنی نیز منفی خواهد شد. شکل شماتیک تابع هدف در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- تابع هدف مساله

مساله حاضر، بسیار شبیه به مساله زمان‌بندی کار فروشگاهی^۱ است. در مساله زمان‌بندی کار فروشگاهی (JSP)، تعداد m فعالیت می‌بایست به ترکیبی از k کارگر تخصیص داده شود تا زمان انجام مجموعه فعالیت‌ها بهینه شود. در مساله حاضر نیز، ماه‌های موجود در خط زمانی به عنوان کارگرها در نظر گرفته شده است که زمان آغاز و فروش هر پروژه باید به یکی از ماه‌ها تخصیص داده شود. همچنین، این مساله نسبت به مساله JSP پیچیده‌تر است چرا که چندین پروژه می‌توانند در یک ماه آغاز و یا فروخته شوند (مصادق این امر که در مساله JSP چندین فعالیت توسط یک کارگر انجام شود). با توجه به این امر که مساله JSP یک مساله NP-complete است، نتیجه می‌شود که مساله حاضر نیز یک مساله NP-complete است و سبب می‌شود حل آن توسط الگوریتم‌های کلاسیک مانند برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی غیرخطی امکان‌پذیر نباشد. لذا محققین این تحقیق برای حل این مساله از الگوریتم‌های بهینه‌یابی استفاده کرده که در ادامه به آن‌ها پرداخته شده است.

الگوریتم‌های بهینه‌یابی

در این تحقیق، از سه الگوریتم چرخه آب، تکامل تفاضلی و مبتنی بر آموزش و یادگیری، به منظور یافتن پاسخ بهینه مساله استفاده شده است. این الگوریتم‌ها الگوریتم تکاملی قدرتمندی برای حل مسائل هستند که برای یافتن جواب بهینه هر نسل را با توجه به جواب بهینه همان نسل و جواب بهینه کل نسل‌ها به روز رسانی می‌کنند تا جواب‌های بهتری را پیدا کنند در ادامه مراحل و فلوچارت الگوریتم‌های ذکر شده ارائه شده است.

- حدس یک مجموعه جواب اولیه به عنوان نسل اول

- محاسبه تابع هدف برای جواب‌ها

- به روز رسانی کردن نسل بر مبنای بهترین جواب این نسل و بهترین جواب تمام نسل‌ها

- تکرار مراحل ۲ و ۳ تا رسیدن به نقطه اتمام

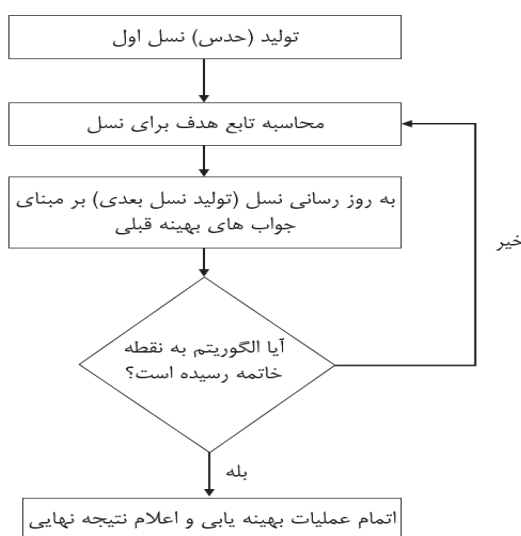
فلوچارت این الگوریتم‌ها در شکل ۴ ارائه نشان داده شده است. روند به‌روز رسانی در این الگوریتم‌ها به گونه‌ای است که در هر تکرار، بهترین جواب به دست آمده تا این مرحله را به عنوان بهترین جواب کلی و بهترین جواب مربوط به مرحله آخر را به عنوان بهترین جواب جزئی انتخاب کرده و جواب‌های هر نسل را به سمت این دو جواب انتخاب شده حرکت می‌دهد تا بتواند

^۱ Job-Shop Problem (JSP)

جواب‌های بهتری را پیدا کند. نحوه این حرکت در رابطه ۷ ارائه شده است. لازم به ذکر است که شرط توقف الگوریتم های بهینه یابی، تعداد تکرار در نظر گرفته شده است.

$$X_{i+1} = X_i + V_i \quad (۱۳)$$

$$V_i = W \times V_{i-1} + C_1 r_1 (X_{GlobalBest} - X_i) + C_2 r_2 (X_{IterationBest} - X_i) \quad (۱۴)$$



شکل ۴- فلوچارت الگوریتم های بهینه یابی

مطالعه موردی

در این بخش، سیدی از پنج پروژه ساختمانی واقعی در تهران که توسط یکی از بزرگترین سازمان های پروژه محور ایران اجرا می شود، به عنوان یک مساله در نظر گرفته شده، سپس با استفاده از مدل پیشنهادی مدل سازی شده و با سه الگوریتم فراابتکاری بهینه سازی شده است. پروژه ها از نوع مسکونی بوده و مدت زمان هر کدام ۳۰ ماه برآورد شده است. اطلاعات مساحت پروژه های ذکر شده در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- اطلاعات مساحت پروژه های ساختمانی مسکونی

اطلاعات کلی	ملک شماره ۱	ملک شماره ۲	ملک شماره ۳	ملک شماره ۴	ملک شماره ۵
متراژ زمین	۵۰۰۰	۲۵۰۰	۲۸۵۰	۵۰۰۰	۵۰۰
تعداد واحد	۶۰	۶۰	۶۰	۱۱۰	۳۵
میانگین متراژ واحدها	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰
زیربنای مفید مسکونی	۴۸۰۰	۴۸۰۰	۴۸۰۰	۸۸۰۰	۲۸۰۰

ماخذ: یافته‌های تحقیق

فرضیات مساله

برای شبیه سازی شرایط واقعی پروژه‌های ساختمانی، مفروضات زیر در نظر گرفته شد:

- نرخ تورم مصالح و ساخت: با توجه به داده های ارائه شده توسط مرکز آمار ایران، نرخ تورم مصالح و ساخت برابر با ۲٪ ماهانه در نظر گرفته شده است.

- مبلغ سود پروژه ها: در این مساله با توجه به نظرات خبرگان، سود ۲۰٪ نسبت به کل هزینه ساخت پروژه ها در نظر گرفته شده است.

- مبلغ فروش پروژه ها: در این مساله سری های زمانی مرکز آمار ایران مربوط به تورم بازار مسکن شهر تهران طی یک دوره ۲۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت و ۴ دوره رونق و رکود شناسایی شد. خلاصه داده‌های استخراج شده در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- تورم مسکن در دوره های رکود و رونق بر اساس سری های زمانی مرکز آمار ایران

دوره	مدت	میانگین تورم ماهانه
رکود	۱۰ فصل معادل ۳۰ ماه	-۲/۲۱۳
رونق	۱۰ فصل معادل ۳۰ ماه	+۵/۳۴۶

ماخذ: یافته‌های تحقیق

مدت زمان سبب پروژه: مدت زمان سبب پروژه در این مساله ۸۴ ماه (۷ سال) در نظر گرفته شده است
شروع سبب پروژه: در این مساله، آغاز زمانی سبب پروژه در ابتدای دوره رکود در نظر گرفته شده است.
آورده نقدی سازمان: کل آورده نقدی سازمان با توجه به محدودیت های مالی و استراتژی های سازمانی ۵۰ درصد هزینه کل پروژه ها فرض شده که ۲۵٪ آن در ابتدای سبب و ۲۵٪ دیگر یک سال بعد یعنی در ماه ۱۲ ام تزریق خواهد شد.

فضای جواب مساله

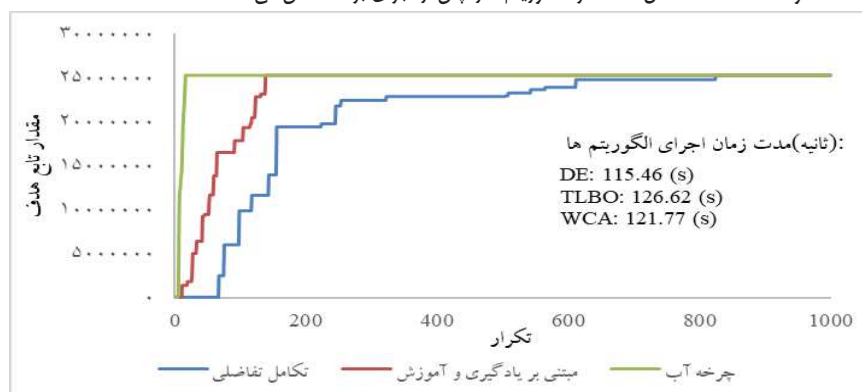
در مثال موردی این پژوهش، سبب پروژه دارای ۵ پروژه می باشد که زمان های آغاز و فروش هر پروژه باید تعیین شوند. از آنجایی که با توجه به مفروضات، اتمام سبب پروژه حداکثر در ماه ۸۴ ام می باشد و مدت زمان هر یک از پروژه ها ۳۰ ماه در نظر گرفته شده، لذا همه پروژه ها می بایست حداکثر تا ماه ۵۴ آغاز شوند (از ماه ۱ الی ۵۴). به همین ترتیب زمان فروش پروژه ها از ماه ۳۰ الی ۸۴ می تواند متغیر باشد. بر همین اساس، فضای جست و جو مساله برابر خواهد بود با:

$$54^5 \times 54^5 = 2 \times 10^{17}$$

مشاهده می شود فضای جست و جوی مساله عددی بسیار بزرگ است و برای حل آن و بدست آوردن جواب بهینه نیاز به *الگوریتم های جست و جوی هوشمند* می باشد.

یافته های پژوهش

در این بخش نتایج به دست آمده از حل مدل بررسی و تحلیل شده است و در ادامه بین نتایج بدست آمده از مدل و نتایج حالت سنتی که از نظرات خبرگان استفاده شده؛ مقایسه ای انجام شده است. برنامه تابع هدف و الگوریتم های بهینه یابی در نرم افزار *Matlab* نوشته شده است. شکل ۵ عملکرد الگوریتم ها را پس از اجرای برنامه نشان می دهد.



شکل ۵- مقایسه عملکرد الگوریتم ها در یافتن پاسخ مساله

شکل ۵ روند بهبود پاسخ با تکرارها را برای الگوریتم‌های *DE*، *TLBO* و *WCA* نشان می‌دهد. مطابق با این شکل مشاهده می‌شود که جواب نهایی برای همه الگوریتم‌ها برابر شده است. این موضوع نشان دهنده قابل قبول و بهینه بودن جواب مساله است. از سوی دیگر، با مقایسه زمان اجرای برنامه برای همه الگوریتم‌ها مشاهده می‌شود که الگوریتم *DE* سرعت بیشتری در این مساله داشته و در زمان کمتری اجرا شده است. نکته مهم دیگر این است که *DE* برای یافتن بهترین جواب ۸۲۵ تکرار انجام داده است، در حالی که *WCA* تنها با ۱۷ تکرار به جواب بهینه رسیده است که نشان دهنده عملکرد بهتر *WCA* در این مساله نسبت به سایر الگوریتم‌ها می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر در مورد الگوریتم‌های بهینه یابی، روند پیدا کردن جواب بهینه است؛ برخی الگوریتم‌ها بصورت تدریجی و برخی دیگر به صورت یکباره به جواب بهینه دست یافته‌اند.

تحلیل خروجی الگوریتم‌های بهینه‌یابی

مطابق با جدول ۴، جواب بدست آمده توسط همه الگوریتم‌ها به گونه ای است که زمان آغاز پروژه های ۱ تا ۵ را به ترتیب ماه های ۱، ۱، ۱، ۴۸ و ۴۸ در نظر گرفته است. یعنی، آغاز پروژه‌های ۱، ۲ و ۳ را در ابتدای شروع سبد پروژه قرار داده و آغاز پروژه‌های ۴ و ۵ را تا ماه ۴۸ به تعویق انداخته است. از سوی دیگر زمان فروش پروژه‌های ۱ تا ۵ را به ترتیب ماه‌های ۴۸، ۶۰، ۶۰، ۷۸ و ۸۴ در نظر گرفته است. با توجه به همزمانی آغاز پروژه‌های ۴ و ۵ (ماه ۴۸) با فروش پروژه ۱ (ماه ۴۸) می‌توان دریافت که الگوریتم هوشمندانه اقدام به فروش پروژه ۱ در ماه ۴۸ کرده است تا منابع مالی جهت ساخت پروژه‌های ۴ و ۵ تامین شود. همچنین مساحت زیر نمودار جریان نقدی تجمعی که نمایانگر مقدار تابع هدف مساله است برابر با عدد ۲۵۲۵۷۶۹۱ می‌باشد. منحنی جریان نقدی در این حالت در شکل ۶ ارائه شده است.

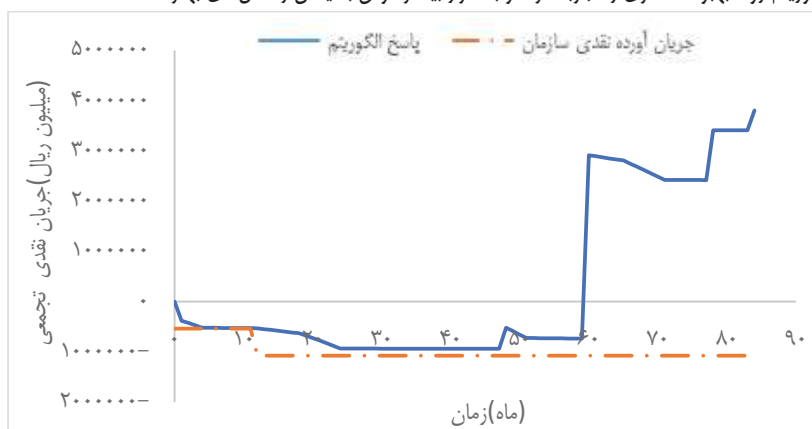
جدول ۴- زمان شروع و فروش پروژه‌ها با توجه به پاسخ دست آمده از الگوریتم‌های جستجوی هوشمند

شماره پروژه	زمان شروع پروژه‌ها	زمان فروش پروژه‌ها
۱	۱	۴۸
۲	۱	۶۰
۳	۱	۶۰
۴	۴۸	۷۸
۵	۴۸	۸۴

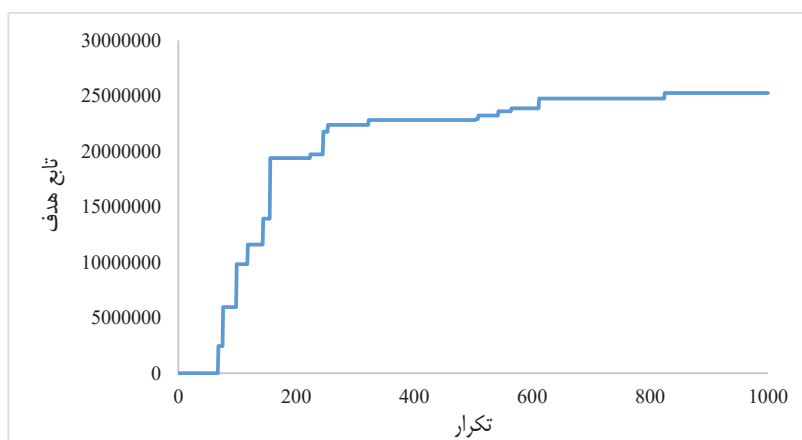
ماخذ: یافته‌های تحقیق

مطابق با شکل ۶ می‌توان دریافت که زمان‌های آغاز و فروش هر پروژه توسط الگوریتم به گونه‌ای انتخاب شده است که علاوه بر محقق شدن هدف سازمان که بهینه‌سازی جریان نقدی سبد است، محدودیت بودجه‌ای آورده نقدی سازمان که مهمترین قید مساله است نیز ارضا شده است؛ به گونه‌ای که الگوریتم در در ماه ۴۸ ام به دلیل کمبود منابع مالی و از طرف دیگر نیاز به آغاز پروژه جدید، مجبور به فروش یکی از پروژه‌های به اتمام رسیده شده است. همچنین الگوریتم تا قبل از ماه ۴۸ ام فروش هیچ

پروژه‌ای را اعلام نکرده است. این عدم فروش به خاطر کافی بودن میزان نقدینگی و قرارگیری در دوره رونق در این بازه زمانی است تا بتوان در ماه‌های آتی پروژه‌ها را با قیمت بالاتری به فروش رساند و جریان نقدی سید پروژه را افزایش داد. روند بهبود تابع هدف برای الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که از این شکل مشاهده می‌شود، الگوریتم روند بهبود مستمری را تجربه کرده و با تکرار بیشتر موفق به یافتن راه حل‌های بهتر شده است.



شکل ۶- منحنی جریان نقدی تجمعی سید پروژه بر اساس جواب الگوریتم‌های بهینه‌یابی



شکل ۷- بهبود تابع هدف با افزایش تکرار برای الگوریتم تکامل تفاضلی (DE)

پاسخ ارائه شده توسط تیم مدیریت پروژه به روش سنتی

به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم بهینه یابی، از تیم دفتر مدیریت پروژه سازمان (PMO) متشکل از یک مدیر پروژه با ۱۲ سال سابقه، یک کارشناس ارشد برنامه ریزی پروژه با ۱۰ سال سابقه و ۲ کارشناس کنترل پروژه به ترتیب با ۵ و ۴ سال سابقه کار درخواست شد تا با توجه به محاسبات مرسوم خود برای مساله جوابی ارائه دهند تا با خروجی الگوریتم مقایسه شود. جواب ارائه شده توسط این تیم در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- مقایسه نتایج حالت چینی سنتی و بهینه توسط الگوریتم

مقدار تابع هدف	جواب ارائه شده برای مساله
۱۸۹۱۷۰۱۰	[۴۸۱۴۸۱۱۱] [۸۴۴۸۷۸۶۰۶۰]

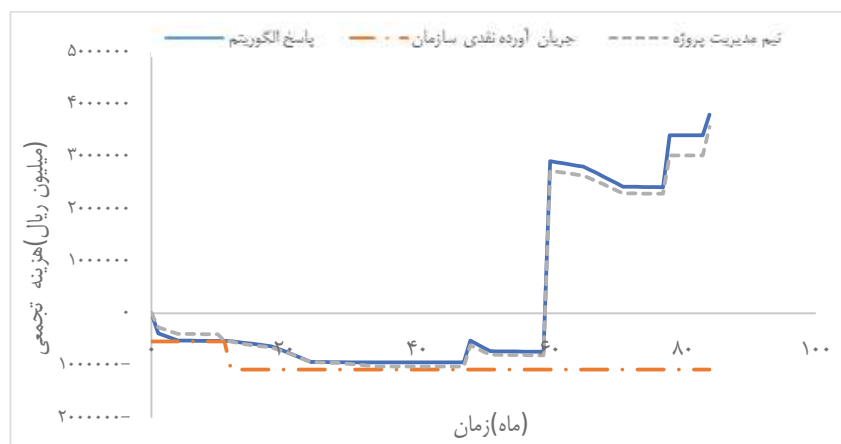
ماخذ: یافته های تحقیق

به عبارت دیگر تیم مدیریت پروژه با بررسی شرایط مساله، آغاز پروژه های ۱ تا ۵ را به ترتیب در ماه های ۴۸، ۱، ۴۸، ۱ و ۱۱ و فروش آنها را به ترتیب در ماه های ۸۴، ۴۸، ۷۸، ۶۰ و ۶۰ اعلام کرده است و بر این اساس مقدار تابع هدف مساله برابر با ۱۸۹۱۷۰۱۰ شده است.

مقایسه نتایج الگوریتم با جواب ارائه شده توسط تیم مدیریت پروژه

پاسخ ارائه شده توسط تیم مدیریت پروژه گرچه قیدهای مساله را رعایت کرده و در نهایت مقدار تابع هدف مثبت و مقدار قابل قبولی است، اما نسبت به جواب ارائه شده توسط مدل و الگوریتم ارائه شده در این تحقیق، مقدار کمتری برای تابع هدف دارد که نشان از فشار مالی بیشتر به سازمان است. با مقایسه مقدار تابع هدف بدست آمده توسط الگوریتم و تیم مدیریت پروژه، مشاهده می شود که نتایج حاصل از الگوریتم به گونه ای است که در مقایسه با حالتی که از نظر خبره استخراج شده است، تابع هدف را ۳۳٪ بهبود داده است. مقایسه نمودار جریان نقدی سبد پروژه طبق جواب ارائه شده توسط الگوریتم و تیم مدیریت پروژه در شکل ۸ ارائه شده است.

تفاوت جواب ارائه شده توسط الگوریتم و تیم مدیریت پروژه را می توان در استفاده بهینه از منابع سازمان دانست. تیم مدیریت پروژه تصمیم گرفت ۲ پروژه را بصورت همزمان در آغاز سبد شروع کند درحالی که طبق محاسبات الگوریتم، امکان شروع ۳ پروژه بصورت همزمان در آغاز سبد پروژه وجود داشته است و به این ترتیب سبب شده است تا هزینه های ساخت پروژه های سبد به دلیل وجود تورم و افزایش قیمت در ماه های بعدی کاهش یابد.



شکل ۸- مقایسه جریان نقدی سبد پروژه بین روش سنتی و جواب بهینه الگوریتم

نتیجه گیری و پیشنهاد

این مقاله مدلی برای بهینه سازی جریان نقدی سبد پروژه در صنعت ساخت و ساز با در نظر گرفتن شاخص های تورمی بازار و میزان آورده نقدی از دیدگاه سازمان ارائه می کند. در این مدل با یافتن بهترین زمان آغاز و فروش پروژه های منتخب در سبد پروژه ساخت، سود از طریق به حداکثر رساندن سطح زیر منحنی جریان نقد تجمعی سبد به حداکثر می رسد. در این مدل، بیشینه تراز منفی در نمودار جریان نقدی تجمعی هرگز از مقدار آورده نقدی تزریق شده به سبد توسط سازمان فراتر نمی رود، به طوری که سازمان با خیالی آسوده اقدام به اجرای سبد پروژه می کند و نگرانی از بابت فشار مالی ندارد. به عبارت دیگر، بیشینه جریان منفی نقدی تجمعی (هزینه ها) از آورده نقدی سازمان (بودجه) تجاوز نمی کند بنابراین جواب بهینه مدل کاملاً متناسب با آورده نقدی و سرمایه در دست سازمان است. علاوه بر این، سایر توانایی های مدل پیشنهادی عبارتند از:

- در نظر گرفتن پارامتر های تورمی صنعت ساخت و مسکن (تورم هزینه های ساخت و تورم مسکن در دوره های رونق و رکود)
- امکان تزریق سرمایه از سازمان به سبد پروژه در چند مرحله به مدل و بهینه سازی سبد متناسب با آن
- عدم محدودیت تعداد پروژه موجود در سبد پروژه

با توجه به اینکه فضای جستجوی مساله بسیار بزرگ بود، از سه الگوریتم فرا ابتکاری *TLBO*، *WCA*، *DE*، برای حل مدل استفاده شد. برای ارزیابی و اعتبار سنجی مدل پیشنهادی، از تیم دفتر مدیریت پروژه (*PMO*) خواسته شد تا بهترین راه حل برای مساله ارائه شده در این مقاله را با استفاده از روش مرسوم خود بیابند تا با خروجی الگوریتم مقایسه شود. مقایسه نتایج به دست آمده توسط الگوریتم و *PMO* نشان داد که الگوریتم تا ۳۳ درصد مقدار تابع هدف را بهبود بخشیده است که نشان دهنده عملکرد

مناسب مدل و الگوریتم بهینه‌سازی در این مساله است. همچنین نتایج نشان داد که الگوریتم **WCA** جواب بهینه را در کوتاه‌ترین زمان و با کمترین فضای جستجو برای مدل پیشنهادی پیدا کرد.

پیشنهادهای برای پژوهش‌های آتی

در راستای توسعه مدل ارائه شده، پیشنهادات ذیل جهت پژوهش‌های آتی ارائه می‌گردد:

- آنالیز حساسیت مدل نسبت به مقدار سرمایه و زمان تزریق بخش دوم سرمایه به سبد پروژه انجام شود.
- آنالیز حساسیت مدل نسبت به زمان آغاز سبد پروژه با توجه به دوره رکود و رونق انجام شود.
- امکان استفاده از دیگر منابع مالی همچون وام‌ها نیز به مدل اضافه شود و مدل تصمیم‌گیری کند که آیا وام اخذ شود یا خیر.
- با توجه به وجود عدم قطعیت در طول اجرای پروژه، تغییرات ناشی از این عدم قطعیت در جریان نقدی پروژه‌ها در نظر گرفته شود.

منابع و مأخذ

- Abbasianjahromi, H., and Rajaie, H. (۲۰۱۲). Developing a project portfolio selection model for contractor firms considering the risk factor. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(۶), ۸۷۹-۸۸۹.
- Akbaş, S., Dalkilic, T.E., and Aksoy, T.G. (۲۰۲۲). Study on portfolio selection based on fuzzy linear programming. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 30(۲), ۲۱۱-۲۳۰.
- Alavipour, S.R., and Arditi, D. (۲۰۱۸). Optimizing financing cost in construction projects with fixed project duration. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(۴), ۰۴۰۱۸۰۱۲.
- Arditi, D., Koksai, A., and Kale, S. (۲۰۰۰). Business failures in the construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 7(2), ۱۲۰-۱۳۲.
- Aritua, B., Smith, N.J., and Bower, D. (۲۰۰۹). Construction client multi-projects-A complex adaptive systems perspective. *International Journal of Project Management*, 27(۱), ۷۲-۷۹.
- Asadujjaman, M., Rahman, H.F., Chakraborty, R.K., and Ryan, M.J. (۲۰۲۰). An Immune Genetic Algorithm for Resource Constrained Project Scheduling Problem with Discounted Cash Flows. In *2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, IEEE. ۱۱۷۹-۱۱۸۳.

Barbosa, P.S.F., and Pimentel, P.R. (۲۰۰۱). A linear programming model for cash flow management in the Brazilian construction industry. *Construction Management and Economics*, 19(۵), ۴۶۹-۴۷۹.

Borghesi, A., and Gaudenzi, B. (۲۰۱۳). *Risk Management: How to Assess, Transfer and Communicate Critical Risks*, Milan, Springer.

Boussabaine, A.H. and Kaka, A.P. (۱۹۹۸). A neural networks approach for cost flow forecasting. *Construction Management and Economics*, 19(۴), ۴۷۱-۴۷۹.

Casault, S., Groen, A.J., and Linton, J.D. (۲۰۱۳). Selection of a portfolio of R&D projects. In: *Handbook on the theory and practice of program evaluation*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, ۸۹-۱۱۵.

Cooper, R.G., Edgett, S.J., and Kleinschmidt, E.J. (۱۹۹۷). Portfolio management in new product development: Lessons from the leaders—I. *Research-Technology Management*, 40(۵), ۱۶-۲۸.

Curtis, C.C, Garin, J., and Mehkari, M.S. (۲۰۱۷). Inflation and the evolution of firm-level liquid assets. *J Bank Finance*, 81, ۲۴-۳۵.

Das, S.R., Kaznachey, D., and Goyal, M. (۲۰۱۴). Computing optimal rebalance frequency for log-optimal portfolios. *Quantitative Finance*, 14(۸), ۱۴۸۹-۱۵۰۲.

Dixit, V., and Tiwari, M.K. (۲۰۲۰). Project portfolio selection and scheduling optimization based on risk measure: a conditional value at risk approach. *Ann Oper Res*, 285, ۹-۳۳.

Drenovak, M., and Ranković, V. (۲۰۱۴). Markowitz portfolio rebalancing with turnover monitoring. *Ekonomski horizonti*, 16(۳), ۲۱۱-۲۲۳.

Ghasemzadeh, F., Archer, N., and Iyogun, P. (۱۹۹۹). A zero-one model for project portfolio selection and scheduling. *Journal of the Operational Research Society*, 50(۷), ۷۴۵-۷۵۵.

Gupta, P., Mittal, G., and Mehlawat, M.K. (۲۰۱۳). Expected value multiobjective portfolio rebalancing model with fuzzy parameters. Insurance. *Mathematics and Economics*, 52(۲), ۱۹۰-۲۰۳.

Han, S.H., Diekmann, J.E., Lee, Y., and Ock, J.H. (۲۰۰۴). Multicriteria financial portfolio risk management for international projects. *Journal of construction engineering and management*, 130(۳), ۳۴۶-۳۵۶.

He, Y., Zhang, J., and He, Z. (۲۰۱۹). Metaheuristic algorithms for multimode multiproject scheduling with the objective of positive cash flow balance. *IEEE Access*, 7, ۱۵۷۴۲۷-۱۵۷۴۳۶.

Hegazy, T. (۱۹۹۹). Optimization of resource allocation and leveling using genetic algorithms. *Journal of construction engineering and management*, 125(۳), ۱۶۷-۱۷۵.

Huang, C.C., Chu, P.Y., & Chiang, Y.H. (۲۰۰۸). A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection. *Omega*, 36(۶), ۱۰۳۸-۱۰۵۲.

Jalaei, S.A., Shakibaei, A., Horry, H.R., Akbarifard, H., GhasemiNejad, A., Robati, F.N., and Zarin, N.A. (۲۰۲۱). A new hybrid metaheuristic method based on biogeography-based optimization and particle swarm optimization algorithm to estimate money demand in Iran. *MethodsX*, 8, ۱۰۱۲۲۶.

Karaboğa, D., and Ökdem, S. (۲۰۰۴). A simple and global optimization algorithm for engineering problems: differential evolution algorithm. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 12(۱), ۵۳-۶۰.

Katoch, S., Chauhan, S.S., and Kumar, V. (۲۰۲۱). A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*, 80, ۸۰۹۱-۸۱۲۶.

Kennedy, J., and Eberhart, R. (۱۹۹۵). Particle swarm optimization, *Proceedings of ICNN'95-International conference on neural networks*. Perth, WA, Australia, IEEE. 4, ۱۹۴۲-۱۹۴۸.

Kumar, P., Panda, G., & Gupta, U.C. (۲۰۱۵). Portfolio rebalancing model with transaction costs using interval optimization. *Opsearch*, 52(۴), ۸۲۷-۸۶۰.

Kumar, S., Tejani, G.G., Pholdee, N., Bureerat, S. and Jangir, P. (۲۰۲۲). Multi-objective teaching-learning-based optimization for structure optimization. *Smart Science*, 101(۱), ۵۶-۶۷.

Li, Q., Qin, Z., and Yan, Y. (۲۰۲۲). Uncertain random portfolio optimization model with tail value-at-risk. *Soft Computing*, 26, ۹۳۸۵-۹۳۹۴.

Markowitz, H.M. (۱۹۵۲). Portfolio selection. *The journal of finance*, 7(۱), ۷۷-۹۱.

Masoumi, R., and Touran, A. (۲۰۱۶). A framework to form balanced project portfolios. *Proceedings of the Construction Research Congress 2016*, May ۳۱- June ۲ ۲۰۱۶, San Juan, Puerto Rico, ASCE. ۱۷۷۲-۱۷۸۱.

Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., and Lewis, A. (۲۰۱۴). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, ۴۶-۶۱.

Mirjalili, S. (۲۰۱۹). Genetic Algorithm. In: Evolutionary Algorithms and Neural Networks. Studies in Computational Intelligence, 780, ۴۳-۵۵. Springer, Cham.

Mittal, G., and Mehlawat, M.K. (۲۰۱۴). A multiobjective portfolio rebalancing model incorporating transaction costs based on incremental discounts. *Optimization*, 63(۱), ۱۵۹۵-۱۶۱۳.

Musarat, M.A., Alaloul, W.S., and Liew, M.S. (۲۰۲۱). Impact of inflation rate on construction projects budget: a review. *Ain Shams Eng J. Optimization*, 12(۱), ۴۰۷-۴۱۴.

Platje, A., Seidel, H., and Wadman, S. (۱۹۹۴). Project and portfolio planning cycle: project-based management for the multiproject challenge. *International Journal of Project Management*, 12(۲), ۱۰۰-۱۰۶.

PMI (۲۰۱۷). *The Standard for Portfolio Management*, Project Management Institute Inc, (fourth ed.), Pennsylvania.

Purnus, A., and Bodea, C.N. (۲۰۱۵). Financial management of the construction projects: a proposed cash flow analysis model at project portfolio level. *Organization, technology & management in construction: an international journal*, 7(۱), ۱۲۱۷-۱۲۲۷.

Qin, Z., Kar, S., and Zheng, H. (۲۰۱۶). Uncertain portfolio adjusting model using semi absolute deviation. *Soft Computing*, 20, ۷۱۷-۷۲۵.

Roslon, J., Książek-Nowak, M., Nowak, P., and Zawistowski, J. (۲۰۲۰). Cash-flow schedules optimization within life cycle costing (LCC). *Sustainability*, 12(۱۹), ۸۲۰۱.

Sadollah, A., Eskandar, H., Bahreininejad, A., & Kim, J.H. (۲۰۱۵). Water cycle algorithm with evaporation rate for solving constrained and unconstrained optimization problems. *Applied Soft Computing*, 30, ۵۸-۷۱.

Samer Ezeldin, A., and Ali, G.G. (۲۰۱۷). Cash flow optimization for construction portfolios, *International Conference on Sustainable Infrastructure*, Reston, VA. *ASCE*. ۲۶-۳۷.

Sanchez, H., Robert, B., Bourgault, M., and Pellerin, R. (۲۰۰۹). Risk management applied to projects, programs, and portfolios. *International journal of managing projects in Business*, 2(۱), ۱۴-۳۵.

[Shahid, M.](#), [Ashraf, Z.](#), [Shamim, M.](#), and [Ansari, M.S.](#) (۲۰۲۳). Solving constrained portfolio optimization model using stochastic fractal search approach. [International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics](#), 16(۲), ۲۲۳-۲۴۹.

Shiha, A., and Hosny, O. (۲۰۱۹). A Multi-Objective Model for Enterprise Cash Flow Management. In Proceedings, *Annual Conference-Canadian Society for Civil Engineering*.

Son, P.V.H., Duy, N.H.C., and Dat, P.T. (۲۰۲۱). Optimization of construction material cost through logistics planning model of dragonfly algorithm—particle swarm optimization. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2۵(۷), ۲۳۵۰–۲۳۵۹.

Wang, M., Xu, F., and Wang, G. (۲۰۱۴). Sparse portfolio rebalancing model based on inverse optimization. *Optimization Methods and Software*, 29(۲), ۲۹۷–۳۰۹.

Woodside-Oriakhi, M., Lucas, C., and Beasley, J.E. (۲۰۱۳). Portfolio rebalancing with an investment horizon and transaction costs. *Omega*, 41(۲), ۴۰۶–۴۲۰.

Yu, J.R., and Lee, W.Y. (۲۰۱۱). Portfolio rebalancing model using multiple criteria. *European Journal of Operational Research*, 209(۲), ۱۶۶–۱۷۰.

Proposing a portfolio balancing model in project-based organizations considering organization's budget and inflation rate of construction and housing in Iran

Reza Rajabi^۱ and Siamak Haji Yakhchali^۲

Abstract

Cash inflows and outflows in construction project-based organizations often lack balance due to delays between expenses and revenue throughout the duration of the portfolio, primarily attributable to the temporal discrepancy between incurred expenditures and realized revenues. The intrinsic characteristics of the construction project portfolio necessitate a lengthy period for project completion and subsequent readiness for sale, thereby facilitating revenue generation for the organization. Consequentially, organizations reliant on construction projects now run the danger of experiencing severe negative cash flow and mounting financial strain. Thus, the goal of this study is to maximize profit from the perspective of the organization, taking into account factors such as construction cost inflation, house price inflation during boom-and-bust cycles, and the organization's capital. The amount of cumulative capital injection sets the maximum negative level of cumulative portfolio cash flow so that the optimal solution of the model is fully proportional to the capital brought into the portfolio. Three meta-heuristic algorithms, including the water cycle algorithm, differential evolution, and teaching-learning-based optimization, are used to solve the algorithm. A portfolio of five real construction projects in Tehran is optimized in order to validate the model. The objective function showed a notable improvement when the optimization findings were compared to the analysis carried out using the traditional method by the Project Management Office (PMO). Additionally, WCA performed better in this problem when compared to other algorithms.

Keywords: Portfolio balancing; Portfolio optimization; Portfolio management; Cash flow; Budget; Inflation; Boom and bust cycles.

^۱PhD Student, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email Address: rezarajabi^۱@gmail.com.

^۲Corresponding Author, Assistant Professor, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email Address: Yakhchali@ut.ac.ir.